

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Krankheiten der Universität Frankfurt am Main
(Direktor: Professor Dr. R. Mittermaier)

DIE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN KOPFHALTUNG UND ERGEBNIS DER VESTIBULARIS-PRÜFUNG

(Zugleich ein Beitrag zum MACH'schen Cosinusetz)

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von
INGEBORG KALITZSCH
aus Erfurt

Frankfurt/Main, 1962

Aus der Klinik für Hals-Nasen-Ohren-Krankheiten der Universität Frankfurt am Main
(Direktor: Professor Dr. R. Mittermaier)

DIE BEZIEHUNGEN ZWISCHEN KOPFHALTUNG UND ERGEBNIS DER VESTIBULARIS-PRÜFUNG

(Zugleich ein Beitrag zum MACH'schen Cosinusetz)

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
der gesamten Medizin
der hohen Medizinischen Fakultät
der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität
zu Frankfurt am Main

vorgelegt von
INGEBORG KALITZSCH
aus Erfurt

Frankfurt/Main, 1962

Dekan: Professor K. Herzberg

Referent: Priv.-Doz. G. Rossberg

Korreferent: Professor R. Mittermaier

mündliche Prüfung: 26. Juni 1962



Herrn Priv.-Doz. Dr. med. G. *Rossberg*
danke ich für die Überlassung des Themas
und die freundliche Unterstützung dieser Arbeit.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41551911_0083

I. Einleitung und Problemstellung:

Die Frage nach der Funktionsweise des Vestibularapparates, die in zahlreichen Versuchen an Tier und Mensch untersucht wird, gab den naturwissenschaftlich denkenden Forschern Anreiz, die peripheren Reizvorgänge im Labyrinth physikalisch-mathematisch zu analysieren. So erörterte *Mach*, daß der Strömungsstoß der Flüssigkeit direkt als Druck das Sinnesepithel reize und, daß die Endolymphströmung in den horizontalen Bogengängen während einer bestimmten Drehbeschleunigung dann maximal sei, wenn die Bogengangsebene mit der Drehebene zusammenfällt. Mit zunehmender Veränderung des Winkels, der von der Bogengangsebene und der Drehebene gebildet wird, nehme die Größe der peripher ausgelösten Erregung proportional der Flüssigkeitsströmung ab. Nach seiner Ansicht verändert sich die Reizwirkung durch den Flüssigkeitsstrom proportional dem Cosinus des Winkels von Bogengangsebene zu Drehebene.

Diese mathematische Beschreibung der peripheren vestibulären Reizvorgänge wurde von *Maier* und *Lion* in Versuchen am Taubenlabyrinth bestätigt. Die Strömungsgeschwindigkeit veränderte sich tatsächlich proportional zur Sinusfunktion des Winkels, den die Kapillarebene (Bogengangsebene) mit der Horizontalen bildete.

Unsere Untersuchungen sollen sich mit dem *Mach*'schen Cosinusetz in Beziehung zu den Kopfstellungen der Versuchspersonen beschäftigen. Es wurde die Abhängigkeit der Vestibularerregung von der Stellung der Bogengangsebene zur Raumbene in rotatorischen und thermischen Versuchsreihen an gesunden Versuchspersonen mit der Frage überprüft, inwieweit das *Mach* sche Cosinusetz auch im Zusammenhang mit der Erregung des Vestibularapparates beim Menschen Gültigkeit besitzt.

II. Literaturübersicht:

Breuer hat kurze Zeit später die Bedeutung der Cupulabewegung als Reiz auf die vestibulären Sinneselemente hervorgehoben. Er stellte fest, daß normale rotatorische und thermische Reize, die das Labyrinth treffen, eine Relativbewegung der Endolymph gegenüber der Wand des häutigen Bogenganges verursachen, die wiederum die Cupula verbiegen. Diese Verlagerung oder Verbiegung sei dann als das Ausgangsmoment der Erregung anzusehen. *Breuer* führt drei Möglichkeiten zur Entstehung der Endolymphbewegung an:

1. den rotatorischen Trägheitsstoß durch die Winkelbeschleunigung, nämlich der Beginn oder das Anhalten der Endolymphbewegung,
2. die thermische Konvektionsströmung bei Temperaturunterschieden an verschiedenen Stellen des Bogenganges,
3. die Kompression oder die Erweiterung des häutigen Bogenganges.

Diese Überlegungen von *Mach* und *Breuer* waren die Grundlagen der *Mach-Breuer*'schen Verlagerungstheorie der Cupula, die schließlich in den Experimenten *Steinhausen*'s am Labyrinth des lebenden Hechtes ihre Bestätigung fanden.

Steinhausen beobachtete, daß die mechanische Beweglichkeit der Cupula ausschlaggebend für die periphere Erregungsauslösung ist. Die Beweglichkeit ist durch die Gestalt der Ampulle und die deformierbare Konsistenz der elastisch gelagerten Cupula gegeben. Die Endolymphströmungen führten über entsprechende deutliche Ablenkungen der Cupula zu den richtungsbestimmten Augenbewegungen. Bei thermischer Reizung dauerte in seinen Experimenten die Ablenkung der Cupula im Gegensatz zur rotatorischen Reizung sehr lange an. Die Cupula kehrt schließlich allmählich in ihre Ausgangsposition zurück.

Brinings kam ebenfalls zu der Ansicht, daß die Ablenkung der Cupula aus ihrer normalen Lage zu einer Erregung des Vestibularapparates führt, die sich schließlich in einem Nystagmus der Augen äußert. Eine optimale Erregung des Bogengangsapparates bei der thermischen Endolymphströmung

findet bei senkrechter Stellung statt. Diese nimmt bei Neigung in die horizontale Stellung zuerst rascher, dann langsamer ab. Die Ergebnisse von *Brinings* zeigen grob orientierend eine Bestätigung der Gültigkeit des *Mach*-schen Cosinusetzes auch für das menschliche Labyrinth an. *Brinings* hatte keinen Versuch einer mathematischen Erfassung seiner Ergebnisse unternommen, da ihn hierbei in erster Linie die klinische Praxis der Vestibularisprüfung interessierte.

Brinings kam zu der Feststellung, daß die Funktionsprüfung des Vestibularapparates die Angabe eines Normalwertes nicht zuläßt, wie es für die anderen Sinnesorgane ja bekannt ist. Erst wenn die breiteren Bereiche der durchschnittlichen Erregbarkeit bei Gesunden nach oben oder unten überschritten werden, könne man von pathologischen Veränderungen sprechen.

Wenn man von der *Brinings*'schen Vorstellung ausgeht, daß die nervösen Bogengangselemente ganz allgemein zu dem Typus der tastempfindlichen Nerven zu rechnen seien, so bedeutet, wie auch von *Mach* und *Breuer* angenommen, eine Verbiegung (Deformation) der Cupula den adaequaten Reiz. Die Größe der Deformation ist bestimmend für den Reizeffekt. Die periphere Erregungsauslösung höre also nicht auf, wenn die Cupula die Ablenkung erreicht hat, die dem jeweiligen mechanischen Reiz entspricht.

Die Methode der thermischen Reizung nutzt thermisch ausgelöste Strömungsvorgänge in der Endolymph, die zur erregungsauslösenden Deformation der Cupula führen. Wenn nämlich der horizontale Bogengang durch Kopfbewegung aus der für die thermische Reizung geltenden optimalen Stellung (Senkrechtstellung) in den Pessimumbereich gebracht wird (horizontaler Bogengang ist in die Raumhorizontale gebracht), hört die Endolymphströmung auf, die Cupula kehrt in die Ruhestellung zurück. Dadurch kommt es zum Abklingen der Labyrintherrregung einschließlich des Nystagmus. Die Rückführung des horizontalen Bogenganges in seine Optimumstellung läßt den vorherigen Nystagmus wieder auftreten, wenn die thermisch bedingte neuerliche Flüssigkeitsbewegung noch ausreichend groß ist. *Boenninghaus* hat diese Beobachtungen von *Brinings* experimentell-elektronystagmographisch bestätigen können.

Die Untersuchungen von *Mach*, *Breuer*, *Steinhausen*, *Brinings* und *Boenninghaus* zeigen also, daß der Winkel zwischen Ebene des horizontalen Bogenganges einerseits und der Ebene der wirksamen Kraft andererseits für die Stärke der peripheren Erregung ausschlaggebend ist und die Intensität des

experimentell ausgelösten Nystagmus entscheidend bestimmt. Die vestibulären Receptionsorgane (Cristae ampullares) reagieren auf die Änderung der Bogengangsstellung sehr empfindlich. Die Dauer der Erregung hängt bei der thermischen Reizung von dem Temperaturgefälle zwischen außen und Endolymph, bei der rotatorischen Reizung von der Dauer der Beschleunigung ab. Ein Reiz, der nicht zur Ablenkung der Cupula aus der Ruhestellung führt, (z.B. Rotation bei konstanter Drehgeschwindigkeit), bleibt ohne Wirkung.

Die Theorie der Endolymphverschiebung und Cupulaverschiebung blieb, wenn auch nur vorübergehend, nicht unwidersprochen. *Wittmaack* und *C. Werner* stellen ihre Lehre von den Tonusveränderungen des ampullären Sinnesepithels als Folge des mechanischen Bogengangsreizes der Theorie der Endolymph- und Cupulabewegung entgegen. *Steinhausen* hat sich sehr gründlich mit der Tonuslehre von *Wittmaack* auseinandergesetzt, da er physikalisch-theoretisch und experimentell keinerlei Bestätigung der vestibulär ausgelösten Erscheinungen von der Tonuslehre her erhalten hat. Seit längerer Zeit ist es um die Tonuslehre wieder ruhiger geworden, so daß sich eine eingehende Darstellung dieser Theorie erübrigt.

Die Methodik, die *Brinings* zur Prüfung des horizontalen Bogenganges am Menschen in die Klinik einführte, erhob keinen Anspruch auf letzte Exaktheit. Es sollte vielmehr der Klinik eine Möglichkeit angeboten werden, die Frage nach Unter- oder Überregbarkeit des Vestibularapparates, ein Vergleich der beiden Seiten zu beantworten. Dazu dienten ihm 4 Messungen in verschiedenen Kopfstellungen:

1. Kopf 60 Grad nach hinten geneigt,
2. in der Mitte zwischen 60 Grad nach hinten geneigtem Kopfe und aufrechter Kopfhaltung,
3. aufrechte Kopfhaltung,
4. Pessimumstellung in 30 Grad nach vorn geneigtem Kopfe.

Die Beobachtung der Reaktion erfolgte durch die *Frenzel* sche Leuchtblille. Es handelte sich also um die Auszählung der Augenzuckungen und Feststellung der Reaktionsdauer durch den Untersucher. Auf diese Weise werden leicht die sehr kleinen nystaktischen Bewegungen übersehen. Die Werte können an Genauigkeit einbüßen. Deshalb war es auch nicht möglich, exakte Angaben über die wirkliche Pessimum- und Optimumstellung der Bogengänge für die experimentelle Vestibularsprüfung zu machen.

III. Eigene Untersuchungen:

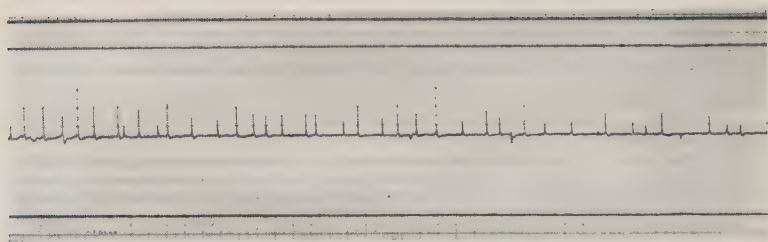
1. Versuchsanordnung:

In der Entfernung von 70 cm vom Patienten ist in Kopf- bzw. Augenhöhe eine Leiste angebracht, auf der sich in Abständen, die bestimmten Winkelgraden der Kopfstellung entsprechen, kleine abwechselnd einschaltbare Glühbirnen befinden.

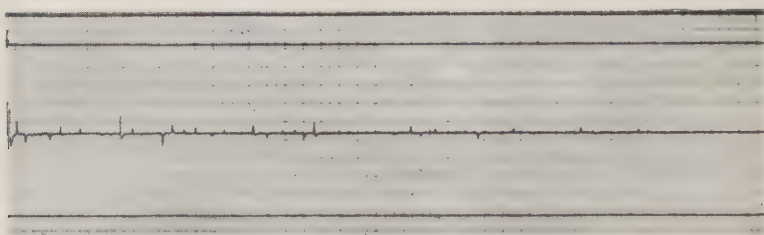
Um den Kopf in verschiedene Stellungen im Raume zu bringen, wird der Kopf solange bewegt, bis mit dem rechten Auge durch einen in mittlerer Höhe von der Orbita angebrachten Metallplatte, die mit einem horizontalen Schlitz versehen ist, die gerade aufleuchtende Glühbirne gesehen werden kann. Durch diesen Schlitz kann der Patient immer nur einen einzigen Lichtpunkt erkennen.

Für die Registrierung des Nystagmus benutzten wir die von *Pfaltz* und *Richter* entwickelte Apparatur zur photoelektrischen Aufzeichnung des Nystagmus. Die Methode beruht darauf, daß das auf das Auge einfallende Licht von Iris und Sklera unterschiedlich absorbiert bzw. reflektiert wird. Zur Vermeidung eines Blendeffektes setzten *Pfaltz* und *Richter* vor die Beleuchtungsquelle ein Infrarot-Filter. In der Mittelstellung ist eine ovaläre Fläche des Auges beleuchtet, in deren Mitte sich Pupille und Iris befinden. Nach beiden Seiten waren nur kleine Bezirke der Sklera mitbeleuchtet. Auf derjenigen Seite, nach welcher sich der Bulbus bewegt, wandert die Sklera aus dem Lichtkegel heraus. Hier nimmt die reflektierte Lichtmenge ab, während auf der anderen Seite die beleuchtete Sklerafäche und damit die Reflektion des einfallenden Lichtes anwächst. Je eine nasal und temporal angeordnete Photozelle wandeln die Intensitätsschwankungen der erfolgten Lichtreflektion zu beiden Seiten der Iris in Spannungsschwankungen um, die einem Galvanometer-Registrierapparat zugeleitet werden. Mit dieser Methode können nach Angaben der Autoren Augenbewegungen bis zu einer Größenordnung von 0,2 Winkelgraden registriert werden. Isometrische Muskelkontraktionen in der Orbita und Kopfbewegungen stören die Aufzeichnung des Nystagmus nicht.

Die Nystagmogramme geben Auskunft über Richtung, Amplitude, Schlagzahl und Dauer des Nystagmus.



Thermische Reizung: $+60^{\circ}$ (*Brünings* sche Optimumstellung)



Thermische Reizung: 0° (Deutsche Horizontale)

Abb. 1: Kurvenbeispiele der photoelektrischen Nystagmusregistrierung nach *Pfaltz* und *Richter*.

Die Ausschläge nach oben entsprechen der Größe der schnellen Nystagmus-Komponente. Die vereinzelt Spitzten nach unten sind durch Lidbewegungen hervorgerufen.

2. Durchführung der Versuche:

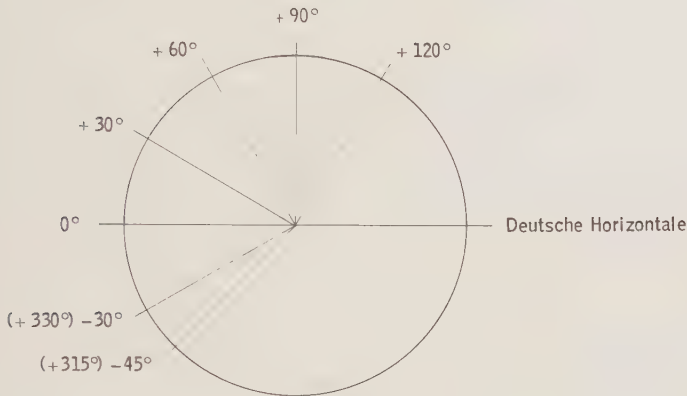


Abb. 2: Winkelbezeichnung der Kopfstellungen (nach Lorente de Nó)

a) rotatorische Vestibularisreizung:

Bei der rotatorischen Prüfung gingen wir von der Kopfhaltung von 30 Grad unter der Horizontalen (-30 Grad) aus, die *Brinings* als durchschnittliche Optimumstellung des horizontalen Bogenganges für die Rotation im Sitzen angegeben hat. Bei den nachfolgenden Drehungen der Versuchsperson wurde der Kopf um jeweils 10 Grad gehoben. In 7 verschiedenen Einstellungen wurde schließlich die Stellung von plus 30 Grad erreicht. Insgesamt wurde also in einem Winkelbereich von 60 Grad geprüft. Die rotatorische Vestibularisreizung bestand in einer Drehbeschleunigung von $3 \text{ Winkelgraden/sec}^2$ für die Dauer einer Minute. Nach den einzelnen Untersuchungen wurde jeweils eine Pause eingelegt, die ausreichte, um das vestibuläre Erregungsgeschehen weitgehend wieder abklingen zu lassen.

b) thermische Vestibularisreizung:

aa) im Sitzen:

Bei der thermischen Prüfung gingen wir nicht von der Optimumstellung des horizontalen Bogenganges, sondern von einer mittleren Kopfstellung, nämlich plus 15 Grad über der deutschen Horizontalen, aus. In den folgenden Prüfungen wurde der Kopf der Versuchsperson in 4 verschiedenen Winkleinstellungen um jeweils 15 Grad, also bis plus 60 Grad (insgesamt 45 Grad) gehoben. Zur Reizung des Vestibularapparates wurde das rechte Ohr mit 10 ccm Wasser von 17 Grad Celsius in der Pessimumstellung des horizontalen Bogenganges gespült. 30 Sekunden nach Spülende wurde der Kopf in die gewünschte Stellung gebracht, der Nystagmus für die Dauer von 180 Sekunden registriert. Die Pause zwischen den einzelnen Versuchen betrug 10 Minuten.

bb) im Liegen:

In einer weiteren Versuchsreihe wurden thermische Prüfungen am liegenden Patienten durchgeführt. In der Ausgangsstellung war der Kopf so gelagert, daß die deutsche Schädelhorizontale mit der Raumhorizontalen einen Winkel von 45 Grad bildete. In den weiteren Einstellungen, die jeweils nach einer Pause von 10 Minuten aufeinander folgten, wurde jedes Mal der Kopf um 15 Grad angehoben, bis zunächst der Winkel von 90 Grad zur Raumhorizontalen erreicht war. Schließlich wurde der Kopf noch weiter nach hinten um zweimal 15 Grad bis zu einem Winkel von + 120 Grad bewegt (siehe Abbildung 2). Der Kopf wurde für die Registrierung durch entsprechende Kopfkeile fixiert. Dadurch konnte im Liegen ein Gesamtbereich von 75 Grad erfaßt werden. Die Methode der thermischen Reizung war die gleiche wie in sitzender Körperhaltung. Die Registrierung erfolgte durchschnittlich während einer Dauer von 90 Sekunden.

Diese zweite thermische Versuchsreihe war notwendig, um über die Breite des Optimums im Kurvenverlauf Genaueres aussagen zu können, was allein in sitzender Haltung des Patienten nicht möglich war. Mit beiden Versuchsreihen umfaßt die Untersuchung den Winkelbereich von 105 Grad.

Die rotatorischen und thermischen Prüfungen wurden am folgenden Tage in der gleichen Reihenfolge und unter den gleichen äußeren Bedingungen wiederholt.

3. Auswertung der Ergebnisse:

In der Reihe der rotatorischen Untersuchungen wurden die letzten 55 Sekunden der insgesamt 60 Sekunden dauernden Registrierung bewertet, da in den ersten 5 Sekunden gelegentlich technische Einstellstörungen das Kurvenbild verzerren.

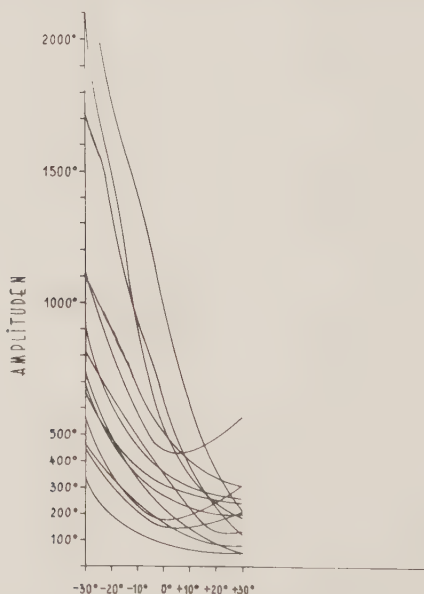
Bei den thermischen Prüfungen konnten dagegen die gesamten 180 Sekunden vom Beginn der Registrierung an nach Amplitude, Schlagzahl und Dauer des Nystagmus ausgewertet werden. Die Umrechnung der Nystagmusamplitude von den Millimetern der registrierten Augenbewegungen nach Winkelgraden erfolgte über den jeweils zu Anfang ermittelten Eichwert. Zu diesem Zwecke werden Augenbewegungen in der Horizontalebene um 30 Winkelgrad registriert.

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen sind in Diagrammen wiedergegeben. Auf der Abscisse sind die Winkelgrade der Kopfhaltung (siehe Abb. 2), auf der Ordinate die absoluten Meßwerte für die jeweilige Nystagmusqualität (z.B. Amplitude) aufgetragen. Die *Interpolation* der einzelnen Werte erscheint uns berechtigt, daß es hauptsächlich auf die Relation der Einzelwerte zueinander ankam. Außerdem lassen sich Kurvenscharen besser beurteilen, wenn die Einzelkurven geglättet sind. Die wiederholten Kurven, die einer Versuchsperson zugehören, zeigen wohl Unterschiede in den Absolutwerten, dagegen läßt der Kurvenverlauf jeweils eine individuelle Steilheit und Lokalisation der Überhöhungen und Senken erkennen.

	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°
Pat. Ko.	2616° 1920°	840° 2130°	1440° 726°	876° 120°	1320° 180°	336° 780°	150° 252°
Pat. Ma.	1040° 415°	870° 675°	525° 480°	393° 450°	540° 150°	543° 93°	612° 111°
Pat. Hö.	279° 679°	156° 336°	99° 333°	58° 210°	42° 542°	25° 60°	36° 27°
Pat. Kl.	450° 702°	269° 330°	237° 365°	158° 303°	129° 378°	67° 230°	74° 660°
Pat. Jo.	354° 576°	396° 180°	150° 183°	108° 168°	207° 277°	108° 270°	258° 367°

Abb. 3: Tabelle der rotatorischen Prüfung Gruppe 1

In sämtlichen Tabellen sind die Optima der Gesamtamplitude fett abgedruckt.

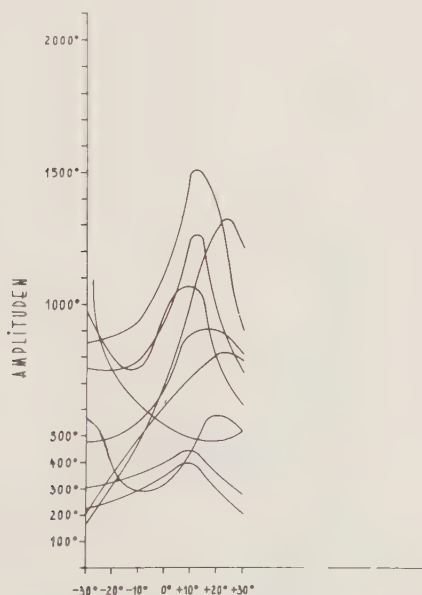


ROTATORISCH: GRUPPE 1

Abb. 4: Kurven der rotatorischen Prüfung Gruppe 1

	-30°	-20°	-10°	0°	+10°	+20°	+30°
Pat. Kn.	1395° 173°	710° 300°	680° 255°	890° 283°	1085° 420°	575° 580°	690° 495°
Pat. Ko.	696° 620°	693° 1050°	860° 975°	765° 930°	1263° 1500°	663° 1140°	870° 792°
Pat. Bi.	702° 318°	330° 480°	420° 510°	486° 570°	1185° 750°	1320° 810°	813° 750°
Pat. Gr.	290° 252°	388° 306°	322° 279°	418° 315°	438° 402°	225° 246°	390° 231°

Abb. 5: Tabelle der rotatorischen Prüfung Gruppe 2



ROTATORISCH: GRUPPE 2

Abb. 6: Kurven der rotatorischen Prüfung Gruppe 2

	+ 60°	+ 45°	+ 30°	+ 15°	0°	- 15°	- 30°	- 45°
Pat. We.	546° 990°	270° 393°	174° 336°	150° 204°	318° 183°	330° 330°	384° 174°	294° 36°
Pat. Gi.	1290° 1464°	465° 1005°	385° 570°	276° 294°	255° 222°	41° 150°	75° 45°	15° 93°
Pat. Wü.	780° 1230°	1260° 663°	660° 426°	260° 213°	710° 303°	690° 204°	390° 123°	200° 51°
Pat. Ha.	800° 950°	255° 380°	216° 305°	138° 140°	102° 195°	60° 350°	45° 175°	50° 136°

Abb. 7: Tabelle der thermischen Prüfung im Sitzen

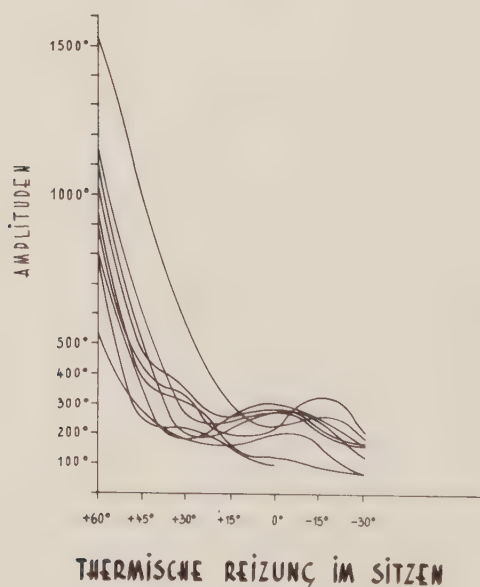
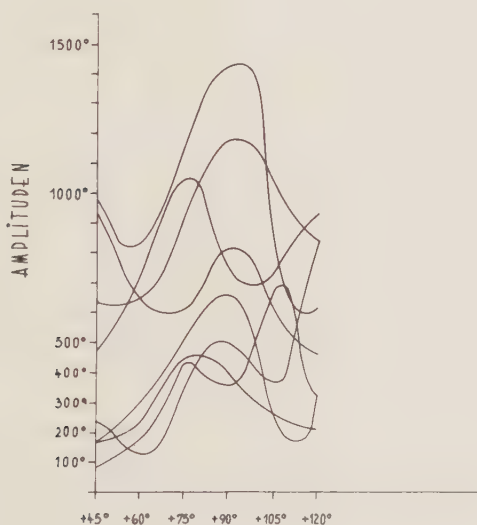


Abb. 8: Kurven der thermischen Prüfung im Sitzen

	+ 45°	+ 60°	+ 75°	+ 90°	+ 105°	+ 120°
Pat. Ga.	235° 162°	90° 423°	500° 576°	360° 672°	315° 120°	935° 312°
Pat. Ge.	444° 996°	774° 651°	1110° 912°	1470° 720°	351° 705°	810° 921
Pat. Sch.	138° 60°	234° 23°	462° 110°	288° 300°	372° 80°	180° 615°
Pat. St.	910° 615°	635° 770°	530° 1055°	770° 1150°	555° 1040°	445° 820°
Pat. Am.	66° 715°	177° 225°	420° 340°	330° 238°	684° 318°	156° 1110°

Abb. 9: Tabelle der thermischen Prüfung im Liegen



THERMISCHE REIZUNG IM LIEGEN

Abb. 10: Kurven der thermischen Prüfung im Liegen

IV. Besprechung der Ergebnisse:

Die Optimum- und die Pessimumstellung des horizontalen Bogenganges sind bei den einzelnen Versuchspersonen nicht bei derselben bestimmten Kopfstellung im Raume zu finden. Sie liegen vielmehr in einem individuellen Winkelbereich, wie schon *Brinnings* betont hat.

Es erscheint uns auf Grund unserer Versuchsergebnisse zweckmäßig, die Versuchspersonen nach der Lage der Optimumstellung des horizontalen Bogenganges bei der rotatorischen Prüfung in 2 Gruppen aufzuteilen:

1. Gruppe:

In diesen Fällen findet sich das Reizoptimum des horizontalen Bogenganges bei einem Winkel von 30 Grad bis 20 Grad unter der normalen Kopfhaltung (= - 20 Grad bis - 30 Grad). Nach beiden Richtungen zu diesem Optimum fallen die Kurven nicht zum Wert Null in der errechneten Pessimumstellung ab, sondern sie verlaufen in relativ weitem Abstand von Null asymptotisch zur Abscisse.

2. Gruppe:

Hier liegt das Optimum bzw. Maximum des Reizeffektes oberhalb der horizontalen Kopfhaltung, und zwar zwischen plus 10 Grad und plus 20 Grad. In den Pessimumbereich tritt man bei diesen Versuchspersonen bei minus 30 Grad ein. Die kurvenmäßige Darstellung des Reizerfolges (Gesamtamplitude des Nystagmus) in Abhängigkeit von der Kopfstellung zeigt einen annähernd sinusartigen Verlauf. Jenseits des Optimums werden die Werte des Reizeffektes dementsprechend schnell wieder kleiner, so daß das Maximum der Kurve nur auf einen schmalen Bereich beschränkt bleibt.

Die Ergebnisse der thermischen Prüfung *im Sitzen* lassen eine gewisse Einheitlichkeit darin erkennen, als die Kurven von einem Maximum beinahe parallel asymptotisch gegen die Abscisse streben. Um das Verhalten des Vestibularapparates über einen größeren Winkelbereich verfolgen zu können, wurden die thermischen Prüfungen in weiteren Versuchsreihen, zum Teil auch *im Liegen*, auf einen Winkel von maximal 105 Grad ausgedehnt. Auf diese Weise erhalten die Ergebnisse der thermischen Prüfung

Ähnlichkeit mit denen der rotatorischen Vestibularisreizung, bei der sich ebenfalls ein engbegrenzter Optimumbereich zeigt. Lediglich der Verlauf der Kurven zwischen Optimum und Pessimum ist hier weniger steil.

Wir haben die wichtige Feststellung bereits angedeutet, daß *erstens* das experimentell bestimmte Pessimum nicht gleich Null bedeutet, und *zweitens* schon im errechneten Pessimumbereich eine erneute Zunahme des Reizeffektes zu registrieren ist.

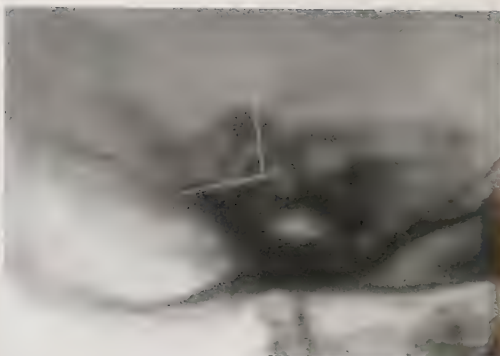
So verlaufen die meisten Kurven, die bei der rotatorischen Prüfung gewonnen wurden, von einem Maximum der Reaktion in den Winkелеinstellungen zwischen plus 10 Grad und plus 20 Grad allmählich nach einem Minimum, um dann noch einmal zu höheren Werten des Reizeffektes anzusteigen. Man gewinnt den Eindruck, daß sich die Kurven hier zu einem zweiten Maximum mit vorwiegend horizontaler Schlagrichtung erheben. Aus technischen Gründen war es aber nicht möglich, diesen Winkelbereich noch weiter auszudehnen.

Das zweite Maximum des experimentell ausgelösten Nystagmus mit vorwiegend horizontaler Schlagrichtung liegt im Optimumbereich der vertikalen Bogengänge. Wir nehmen deshalb an, daß von hier aus unter bestimmten Bedingungen ebenfalls ein Nystagmus mit horizontaler Schlagrichtung zustande kommen kann. Diese Annahme werden wir noch zu begründen versuchen.

Zunächst ist die Frage interessant, ob wir in der Lage sind, die Optimumstellung des horizontalen Bogenganges in seiner Beziehung zur Raumhorizontalen oder zur deutschen Schädelhorizontalen anzugeben. Naheliegend ist der Versuch, die Lage des Labyrinthes in der Pyramide röntgenologisch festzustellen. Die Röntgenaufnahme nach *Stenvers* hat uns allerdings nicht weiter geholfen. Sie gibt wohl Auskunft über den Winkel zwischen dem horizontalen und dem vorderen vertikalen Bogengang, der in weiten Grenzen schwankt (siehe Tabelle Abb. 12). Dagegen sind wir nicht in der Lage, über die Beziehung zwischen Ebene des horizontalen Bogenganges einerseits und Schädelhorizontalen andererseits genaue Angaben zu machen.

Wie unsere Tabelle (Abb. 12) zeigt, ist der Winkel zwischen dem horizontalen und dem vorderen vertikalen Bogengang sehr großen Schwankungen unterworfen. *C. Werner* konnte auf Grund seiner Untersuchungen

$\angle = 97^\circ$



$\angle = 80^\circ$



Abb. 11: Röntgenaufnahmen nach Stenvers

rechts	links	rechts	links
82°	88°	99°	99°
92°	95°	88°	88°
87°	82°	90°	46°
90°	90°	93°	90°
88°	89°	90°	90°
87°	90°	70°	65°
82°	94°	70°	78°
85°	110°	37°	77°
90°	95°	102°	95°

Abb. 12: Tabelle über den Winkel zwischen dem Horizontalen und dem vorderen vertikalen Bogengang bestimmt nach den Röntgenaufnahmen nach *Stenvers*. Zugleich eine Gegenüberstellung dieses Winkels von rechtem und linkem Labyrinth.

darauf hinweisen, daß dieser Winkel nicht immer konstant 90 Grad ist, sondern häufig bis zu 30 Grad (also 60 Grad) darunter liegen kann. Zu den gleichen Ergebnissen kam auch *M. H. Fischer*. Es werden sogar Unterschiede dieses Neigungswinkels bei dem gleichen Individuum zwischen rechtem und linkem Labyrinth angegeben. Diese Ansichten können wir durch unsere Untersuchungen bestätigen. Wir fanden sogar, daß der Winkel nicht nur kleiner, sondern häufig größer als 90 Grad ist. Der größte von uns festgestellte Winkel betrug 110 Grad.

Lorente de Nó hat beobachtet, daß bei der rotatorischen Vestibularisreizung die Umkehrung der Schlagrichtung des horizontalen Nystagmus nicht mit der Vertikallage des horizontalen Bogenganges zusammenfällt. Die horizontalen Augenmuskeln können auch in dieser indifferenten Stellung der horizontalen Bogengänge von den vertikalen Bogengängen her Impulse erhalten, die eine Augenbewegung in der Horizontalebene bewirken. Es ist wahrscheinlich sogar so, daß sich die horizontalen Augenmuskeln in *allen* Kopfstellungen in erster Linie an der Entstehung des Nystagmus beteiligen. Diese experimentellen Beobachtungen lassen sich so erklären, daß der horizontalen Bewegung der Augen die größere biologische Bedeutung für die Orientierung im Raume zukommt.

Bei der Entstehung des Nystagmus spielen neben der Bogengangserregung unter anderem auch die von den Lagerezeptoren ausgehenden Impulse eine Rolle. Das Nervensystem hat also während der Bogengangserregung zwei disparate Erregungen zusammenzusetzen, die Lage- und die Bewegungserregung (*Bárány*). Durch Tierversuche kam *Lorente de Nó* zu der Ansicht, daß die *horizontalen* Bogengänge als „*Bewegungsbogengänge*“ und die *vertikalen* Bogengänge als „*Lagebogengänge*“ bezeichnet werden müssen. Nach Ausschaltung der horizontalen Bogengänge konnte sich das Versuchstier nicht mehr koordiniert in normaler Haltung bewegen. Die Plombierung der vertikalen Bogengänge ermöglichte dem Tier wohl, sich in einer bestimmten Lage zu bewegen. Es konnte aber den Kopf nicht mehr aus einer beliebigen Lage in die normale Raumlage bringen. Die „*Lagebogengänge*“ sind gemeinsam mit den Otolithen für die Einstellung in die normale Haltung des Kopfes im Raume verantwortlich. Auf die Augenmuskeln übertragen, läßt sich die Auswirkung dieser beiden Systeme so definieren, daß die Bogengänge einen Nystagmus auslösen, während die Otolithenorgane ihn modifizieren. Diese Feststellung konnten *Magnus* und de *Kleijn* ebenfalls im Versuch bestätigen.

An dieser Stelle beschäftigt uns nochmals die Frage, wie das zweite Maximum unserer Kurven, das in der Gegend der Pessimumstellung des horizontalen Bogenganges liegt, zu deuten ist. Die horizontale Schlagrichtung bleibt auch hier vorherrschend. Sie wird über die nervösen Schaltstellen bis zu einem gewissen Grade auch von den vertikalen Bogengängen mit induziert.

Lorente de Nó beobachtete, daß der Nystagmus durch rotatorische Reizung des hinteren vertikalen Bogenganges bedeutend schwächer ist, als der Nystagmus, der auf eine Reizung des horizontalen Bogenganges zurückzuführen war. Dieser Deutung unserer Beobachtungen stehen die Versuche von *Steinhausen* nicht entgegen, der bei der Reizung der horizontalen Bogengänge des Hechtes einen horizontalen Nystagmus beobachtete, während er von den vertikalen Bogengängen aus nur einen vertikalen Nystagmus auslösen konnte. Diese Untersuchungen sind nämlich bei gleichbleibender Lage des Labyrinthes im Raume durchgeführt worden. Die Lageerregung blieb also unverändert.

Schließlich sind auch die Beobachtungen von *Grabe* interessant, nach denen der postrotatorische Nystagmus durch Anheben des Kopfes gering verstärkt, infolge Kopfsenkens gering abgeschwächt wird. Wenn wir diese

Art der Beeinflussung auf unsere Ergebnisse übertragen, dann verstehen wir, weshalb bei der thermischen Reizung die Optimumstellung, die in ihrem Mittelwert bei 60 Grad nach rückwärts geneigtem Kopf liegt, gegenüber dem Effekt der Optimumstellung bei der rotatorischen Reizung bei um 30 Grad nach vorn geneigtem Kopf soviel intensiver erscheint.

Infolge einer Änderung der normalen Lage im Raume liefert die perceptive Innervation außerhalb des Labyrinthes an den Stabilisierungsapparat der Gleichgewichtsregulation eine quantitativ und richtungsmäßig definierte Impulskomponente, welche sich der vestibulären Beeinflussung überlagert. *Hess* bezeichnet diesen Vorgang als „stumme Leistung der Propriozeptivität“ zur Aufrechterhaltung des Körpergleichgewichts und als Teilleistung der extrapyramidalen Motorik.

Koella sah eine Abhängigkeit der Intensität des Nystagmus von dem Neigungswinkel des Versuchstieres gegen die Raumhorizontale (also nicht Kopfbewegung bei fixiertem Rumpf). Dieser Winkel, den er als Kippwinkel bezeichnet, hat einen Einfluß auf die Dauer und Schlagzahl des Nystagmus. *Koella* erklärt dieses Phänomen damit, daß die Veränderungen des Nystagmus ihre Ursache im Effektorensystem, den Augenmuskeln, haben. Die Gesamtheit der ampullären Erregungen laufen in der vestibulären Zentrale zusammen, wo sie infolge weiterer hier ankommender Afferenzen moduliert wird. Die Afferenzen von seiten der Otolithen haben hier großen Einfluß (*Lorente d Nó, Bárány*).

De Kleijn stellt den Nystagmus als einen Summationseffekt der Bogengangserregung, des Otolithen- und des Halsmuskeleinflusses dar, wobei selbstverständlich die Bogengangskomponente in der Regel überwiegt. Er diskutiert die Möglichkeit, daß die extralabyrinthären propriozeptiven Afferenzen mit den vestibulären Erregungen auf dem Wege zwischen Innenohr und Augenmuskelkernen zusammentreffen und an dieser Stelle eine Modulation des Erregungsbildes aus den Bogengängen bewirken.

Auf dem Wege zu den Augenmuskelkernen durchlaufen die einzelnen maßgeblichen Impulse ein zwischengeschaltetes Zentrum, das wir für den vestibulären Nystagmus in der *Formatio reticularis* suchen (*Mittermaier*). Dieses sogenannte Funktionszentrum wandelt die hier zusammenlaufenden vielfältigen zentripetalen Erregungen in richtungsbestimmte zentrifugale Impulse um. Die Notwendigkeit einer zentralen Koordination der Erregungen aus Halsmuskulatur und Vestibularapparat bestätigt *Meyer* zum *Gottesberge*.

Die Vorstellung dieser zentralen Koordination ist im Prinzip keine überraschende Erweiterung unseres theoretischen Wissens. Sie präzisiert nur die Gedanken, die schon lange die Untersucher beschäftigt haben. Aus der klinischen Erfahrung wissen wir nämlich, daß die Größe auch der vestibulären Reaktion in bestimmten Grenzen vom Ausgangszustand des Zentralnervensystems abhängig ist (*Wilder*). Das bedeutet, daß der Nystagmus, der durch periphere Labyrinthreizung ausgelöst wird, bis zu einem gewissen Grade unter dem Einfluß solcher zentral-nervöser Faktoren steht. Denn letzten Endes entsteht jeder Nystagmus zentral, er kann natürlich entweder peripher oder zentral ausgelöst werden (*Frenzel*). Auch bei gesunden Versuchspersonen erklären sich wenigstens zum Teil die sehr geringen und die ebenso auffällig starken Reaktionen bei gleichbleibenden äußeren Versuchsbedingungen.

Forster hat den Einfluß der Erregungen aus den Halspropriozeptoren auf Form und Intensität des Nystagmus eingehend untersucht. Erst das Zusammentreffen der tonischen Impulse aus der Halsmuskulatur und die Labyrintherrregungen ermöglichen die Orientierung im Raume über eine Kompensation der unter natürlichen Verhältnissen vorkommenden passiven Lageänderungen des Kopfes, die durch die entsprechenden reflektorischen Augen- und Kopfbewegungen erfolgt. Die Veränderungen von Dauer und Schlagzahl des Nystagmus deuten nach *Forster* auf eine Änderung des zentralen Erregungsbildes hin, das von den Bogengängen herührt. Den Ort der Zusammenschaltung der Bogengangserregungen mit den Afferenzen des Otolithenapparates und denjenigen der propriozeptiven Endigungen des Halses sucht er ebenfalls wie *Mittermaier* in den supranucleären Zentren der *Formatio reticularis*. Der vestibuläre Augennystagmus ist also Ausdruck eines mehrfach gesteuerten Reflexes (*Hess*), der nicht nur durch die Erregungsgebilde des Otolithenapparates und der Halspropriozeptoren beeinflusst wird. Die Auswirkung dieser lenkenden Faktoren selbst wird wiederum durch gegenseitige Beziehungen quantitativ und qualitativ kontrolliert und verändert. In dieser Weise ist der Begriff einer mehrfachen Steuerung des Reflexapparates zu verstehen (*Forster*). Die Entstehung des experimentell ausgelösten labyrinthären Nystagmus ist also nicht einfach nur aus den Vorgängen in den Bogengängen herzuleiten. Diese Feststellung bedeutet aber nicht eine Verwerfung des *Mach'schen* Cosinusgesetzes für die Vestibularisphysiologie. Sein Anwendungsbereich ist unverändert, wie ihn *Mach* gesehen haben wollte, gültig. Das *Mach's-*

sche Cosinusetz beschreibt die Abhängigkeit der physikalischen Vorgänge in den Bogengängen in der Abhängigkeit ihrer Lage im Raume. Die Bewegung der Endolympe und damit die Verbiegung der Cupula, ausgelöst durch rotatorische oder thermische Reizung, folgt bei Änderung der Kopflage wenigstens angenähert einer Cosinusfunktion. Die nervösen Leitungs- und Schaltungsvorgänge, die schließlich zum Auftreten eines Nystagmus bestimmter Form und Größe führen, lassen sich aber mathematisch-physikalisch nicht mehr erfassen. Der Verlauf der dargestellten Kurven (Abb. 4, 6, 8, 10) läßt eine gewisse Beziehung zu einer Cosinusfunktion noch erkennen. Die Vielfalt der zentral-nervösen Beeinflussung des aus den horizontalen Bogengängen ankommenden Erregungsgeschehens macht verständlich, daß nicht nur interindividuelle, sondern auch häufig intraindividuelle Unterschiede bzw. Schwankungen zu beachten sind. Unsere Untersuchungen über die Funktionsweise des Bogengangsapparates werden trotz dieser Einflüsse, die der physikalisch-mathematischen Beschreibung verschlossen bleiben, immer wieder von der Peripherie ausgehen oder eben auf die mechanischen Vorgänge in den Bogengängen zurückführen, die u.a. auch *Mach* zur Grundlage seiner Berechnungen gemacht hat.

Aufgabe dieser Arbeit war es, unsere Untersuchungen zu diesem Thema zu beschreiben und die Ergebnisse tabellarisch und kurvenmäßig auszuwerten. Die theoretischen Folgerungen, die sich aus diesen Werten ergeben, sind nur andeutungsweise erörtert. Sie werden von *G. Rossberg* ausführlicher diskutiert (Archiv für Ohren- usw. Heilkunde 1962, im Druck).

V. Zusammenfassung:

Die Beziehungen zwischen Kopfstellung und GröÙe der Endolymphströmung in den Bogengängen bei der experimentellen Vestibularisreizung hat *Mach* in dem sog. Cosinusgesetz dargestellt. Darin wird die Abhängigkeit der Vestibularisreizung von der Stellung der Bogengangsebene zur Raumebene getrennt nach der rotatorischen und thermischen Prüfung abgeleitet. Wir haben in experimentellen Untersuchungen nachgeprüft, ob und in welchen Grenzen dieses Gesetz für den Vestibularapparat des Menschen Gültigkeit besitzt. Die Ergebnisse der Untersuchungen von *Breuer*, *Brünings* und *Steinhausen* werden diskutiert.

In 3 Versuchsreihen wird die Abhängigkeit des vestibulären Reizeffektes von der Kopfstellung im Raume bei der thermischen und rotatorischen Prüfung untersucht. Der Nystagmus wird mit der photoelektrischen Methode nach *Pfaltz* und *Richter* registriert.

In der rotatorischen Versuchsreihe am sitzenden Patienten wurde diese Abhängigkeit in einem Winkelbereich von 60 Grad mit einer Drehbeschleunigung von 3 Winkelgraden/sec untersucht.

Die thermische Vestibularisreizung mit den verschiedenen Kopfstellungen im Raume wurde *im Sitzen* und *im Liegen* durchgeführt. Auf diese Weise wurde insgesamt ein Winkelbereich von 105 Grad erfaßt. Alle Untersuchungen wurden am folgenden Tage in der gleichen Reihenfolge und unter den gleichen äußeren Bedingungen wiederholt.

Die Ergebnisse werden in Tabellen und Diagrammen dargestellt. Eine Aufteilung der Versuchspersonen in 2 Gruppen bei der rotatorischen Prüfung war wegen der Lage des Erregungsoptimums, das zum Teil bei -30 Grad bis -20 Grad unter der deutschen Schädelhorizontalen (= *Brünings*'sche Optimumstellung für die rotatorische Reizung des horizontalen Bogenganges), zum Teil bei +10 Grad bis +20 Grad (also über der deutschen Horizontalen des Schädels) liegt, notwendig.

Die Ergebnisse der thermischen Prüfung im Sitzen zeigen einen schmalen Optimumbereich bei +60 Grad (= *Brünings*'sche Optimumstellung). Die Kurven fallen zu beiden Seiten des Maximums steil zu einem Pessimum ab, ohne den Wert Null zu erreichen. Ein erneutes Anwachsen des experimentell ausgelösten Nystagmus mit horizontaler Schlagrichtung fällt in die Nähe des Optimums der *vertikalen* Bogengänge.

Die Lage der horizontalen Bogengänge im Schädel ist nicht vorauszubestimmen. Die *Stenvers*-Aufnahmen lassen bei der Beurteilung der Lage des Labyrinthes zur Schädelhorizontalen im Stich.

Die Abweichungen der Versuchsergebnisse von den Berechnungen, die sich aus dem *Mach*'schen Cosinusetz ergeben, werden mit den nervösen Leitungs- und Schaltvorgängen jenseits des Labyrinthes erklärt. Hier spielen die Impulse aus den Lage- und Halsmuskelpropriozeptoren eine wesentliche Rolle in der Bestimmung von Form und Stärke des Nystagmus.

Die Ergebnisse der experimentellen Vestibularisreizung sind also nicht allein von der Peripherie her mechanisch zu erklären, sie werden sehr wesentlich u.a. von der Tätigkeit übergeordneter supranucleärer sog. Funktionszentren (*Mittermaier*) bestimmt, die zusammen mit den Afferenzen aus den Otolithenorganen und den Propriozeptoren der Halsmuskulatur den experimentell ausgelösten labyrinthären Nystagmus als einen mehrfach gelenkten Reflex erscheinen lassen.

Das *Mach*'sche Cosinusetz gilt für die physikalischen Vorgänge im Bogengangssystem sowohl für die rotatorische wie die thermische Reizung. Über die Peripherie hinaus sind die Leitungs- und Schaltvorgänge im Zentralnervensystem nicht mehr mathematisch erfaßbar. Sie bleiben nur unter Heranziehung der *Hess*'schen Koordinationslehre verständlich.

Lebenslauf

Am 24. Oktober 1935 wurde ich als erste Tochter des Rechtsanwalts und Notars Dr. Johannes Kalitzsch und seiner Ehefrau Ruth Kalitzsch, geborene Weber in Erfurt geboren. Meine Kindheit und Grundschulzeit von 1942 bis 1950 verbrachte ich in Sömmerda in Thüringen. Von 1950 bis 1954 besuchte ich die Theo-Neubauer-Oberschule in Erfurt, die ich mit dem Abitur verließ. 1955 legte ich an dem Goethe-Gymnasium in Frankfurt/M die Ergänzungsprüfung zum Abitur für die Bundesrepublik Deutschland ab. Zum Sommersemester 1955 wurde ich an der Medizinischen Fakultät der Johann-Wolfgang-Goethe-Universität zu Frankfurt/M immatrikuliert. Meine medizinische Ausbildung erfolgte in Frankfurt/M. 1958 bestand ich das Physikum und am 13. 2. 1962 das medizinische Staatsexamen.

VI. Literaturverzeichnis :

- Bárány, R. und Wittmaack, K.* Funktionelle Prüfung des Vestibularapparates Verlag Gustav Fischer, Jena 1911
- Boenninghaus, H.-G.* Nystagmographische Untersuchungen bei Kopfstellungsänderung während der calorischen Reizung
Archiv f. Ohren-Nasen- und Kehlkopf-Heilkunde 169, 405, 1956
- Breuer, J.* Über Bogengänge und Raumsinn
Pflüger's Archiv f.d.ges. Physiol. 68, 596, 1897
- Brünings, W.* Beiträge zur Theorie, Methodik und Klinik der kalorischen Funktionsprüfungen des Bogengangsapparates
Archiv Zeitschrift der Ohrenheilkunde 63, 20, 1911
- Fischer, M. H.* Die Regulationsfunktion des menschlichen Labyrinthes und die Zusammenhänge mit verwandten Funktionen 1928
- Fischer, M. H.* Beiträge zur Physiologie des menschlichen Vestibularapparates
W.V. Mitteilung: „Bilateralmethoden, speziell Doppelspülung“, A. Nystagmus.
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 213, 74, 1926
- Forster, G.* Der Augennachnystagmus bei Stellungsänderung des Kopfes
Helv. Physiol. et Pharmacol. Acta 7, 382, 1949

- Frenzel, H.* Hüpfender Nystagmus, eine besondere Schlagform des Spontannystagmus (Ein Beitrag zur Formanalyse des Hirnstammnystagmus, insbesondere der Deutung des „pendelartigen Ruckens“) *Nervenarzt* 18, 205, 1947
- Grabe, K.* Halsreflexe und Vestibularreaktion beim Menschen *Zeitschrift f. Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde* 3, 550, 1922
- Hess, W. R.* Zwischenhirn und Motorik
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 243, 634, 1940
- Hess, W. R.* Biomotorik als Organisationsproblem
1. Teil die Naturwissenschaften 30, 441, 1942
2. Teil die Naturwissenschaften 30, 537, 1942
- de Kleijn, A.* Tonische Labyrinth- und Halsreflexe auf die Augen
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 186, 82, 1921
- Koella, W.* Gleichgewichtsorgan und Augenmuskelsystem im Lichte der Koordinationslehre. Ein Beitrag zum Organisationsproblem der Motorik
Vierteljahresschrift d. Naturforsch. Gesellsch. Zürich XCV, 1, 1950
- Koella, W., Forster, G. Szabo, Th.* Der Augennystagmus nach Rotationen mit verschiedener Kopfhaltung
Helv. Physiol. et Pharmacol. Acta 8, 297, 1950
- Lorente de Nó, R.* Untersuchungen über die Anatomie und Physiologie des Nervus octavus und des Ohrlabyrinthes *Tipographia artistica, Cervantes*, 28-Madrid 1927/28
- Mach, E.* Grundlinien der Lehre von Bewegungsempfindungen
Verlag Wilhelm Engelmann, Leipzig 1875, 19

- Magnus, R. und de Kleijn, A.* Weitere Beobachtungen über Hals- und Labyrinthreflexe auf die Gliedermuskeln des Menschen
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 160, 429, 1915
- Maier, M. und Lion, H.* Experimenteller Nachweis der Endolymphbewegung im Bogengangssystem des Ohrlabyrinths bei adaequater und kalorischer Reizung. Physiologische Erklärung der Auslösung des Nystagmus durch Endolymphbewegung
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 187, 52, 1921
- Meyer zum Gottesberge, A. Maurer, W.* Über den Funktionsmechanismus des vertikalen Bogengangsystems bei der Entstehung des rotatorischen und vertikalen Nystagmus
Archiv für Ohren-Nasen- und Kehlkopf-Heilkunde 155, 705, 1949
- Mittermaier, R.* Über den Wirkungsmechanismus des Vestibularsystems
Archiv f. Ohren-Nasen-Kehlkopf-Heilkunde 154, 141, 1944
- Pfaltz, C. R. und Richter, H. S. R.* Photoelektrische Nystagmusregistrierung.
Practica Oto-Rhino-Laryngologica 18, 263, 1956
- Steinhausen, W.* Über die Beobachtung der Cupula in den Bogengangssampullen des Labyrinthes des lebenden Hechtes
Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiol. 232, 500, 1933
- Werner, C. F.* Über die Lage und Funktion des lateralen Bogenganges beim Menschen und die Theorie der Endolymphströmung
Zeitschrift der Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde 39, 194, 1936
- Wilder, J.* Das „Ausgangswert-Gesetz“, ein unbeachtetes biologisches Gesetz und seine Bedeutung für die Forschung und Praxis
Zeitschrift f. Neurologie 131, 317, 1931

Wittmaack, K.

Die Ortho- und Pathologie des Labyrinthes als
Grundlage der dystonischen und dystrophischen
Erkrankungsprozesse des Innenohres
Georg Thieme Verlag Stuttgart 1956

